

# 最近 몰드 變壓器의 技術動向과 適用事例

## A State of the Art for Mold Transformer and its Applications

任 達 鎬

漢陽大學校 工科大學 電氣工學科 教授  
漢陽大學校 産業科學 研究所 所長

### 1. 몰드 變壓器 使用의 必要性

최근 상업의 고도화, 도시 기능의 복잡 다양화, 도시의 과밀화 추세에 따라 전기 수배전 설비에도 방재, 고안전성, 무공해성, 고신뢰성의 제품이 더욱 요구되고 있다. 이에 따라 수배전 기기가 전식화 되어가는 경향이 있어 수배전 설비의 중심이 되는 변압기에도 전식화가 강력히 요구되어 왔다.

한편 성자원, 성에너지 관점에서 소형 경량, 저전력 손실 및 보수, 점검이 간단한 몰드 변압기의 제조가 활발해졌다.

이 몰드 변압기는 최초 1970년대 H종 바니스형의 전식 변압기가 주류를 이루어왔으나 기중 절연이 불리하고 절연 레벨이 유입 변압기에 비해 낮으며 운반 및 설치 운영시의 취급이 까다롭고 흡습에 특히 주의가 필요하였다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 변압기 코일을 에폭시 수지로 몰드하는 고체 절연 방식의 몰드 변압기가 연구개발되어 1980년대 초반부터 서울 지하철 2호선에 소요되는 변압기를 몰드 변압기로 적용한 이래 각 빌딩, 공장, 지하철등 공공시설에 널리 보급되어 호평을 얻고 있으며 날로 대중화 되어가는 추세이다.

### 2. 몰드 變壓器의 技術 動向

몰드 변압기 기술의 최대 포인트는 변압기 코일을 어떤 절연 방식으로 하느냐에 있다.

코일을 몰드 절연하는데에는 전기적, 기계적 및 물리적 특성이 우수한 에폭시 수지를 사용하는 것이 일반화되어 있고 현재는 종래의 유입 변압기와 동등한 수준의 기술이 평준화되어 있어 신뢰성면에서도 매우 우수한 제품으로 평가되고 있다.

현재 몰드 변압기라고 부르는 것의 몰드 절연 방식은 크게 별도의 특수 금형을 사용하여 제조하는 금형방식과 금형을 사용하지 않는 무금형 방식으로 대별되는데 통상 금형 방식을 주형 몰드, 무금형 방식을 합친 몰드라고 부른다.

금형 방식은 초보적인 PT, CT 등의 몰딩 공법을 변압기에 적용 개량하여 현재까지 주류를 이루고 있다.

장점으로는 코일 표면을 금형에 의해 성형시키므

로 외관이 미려하며 금형을 다수 준비하면 동시에 다수 주형할 수 있으므로 양산성에 유리한 점이 있다. 그러나 이 방식은 금형에 의해 정해진 컷수나 형태에 제한을 받으므로 특수 사양의 변압기에는 비경제적인 면이 많고 변압기 용량이 크게 되면 코일에 주입되는 수지량이 많아지기 때문에 대형 제조 설비가 필요하게 되고 수지를 주형 경화시키는 공정에서 특별한 응력 집중의 완화책등이 고려되어야 하는 등 고도의 주형 기술이 필요하게 된다.

금형 방식에는 주형법, 합침법, 합침 주형법 및 FRP주형법등 여러가지 방법이 있으나 이 모든 제조 방법은 에폭시의 수지 및 경화제의 선정, 충전제의 배합 비율, 경화시의 온도 조절, 내크랙 성등을 향상시키기 위한 응력 집중의 완화책등 고도의 주형 기술과 풍부한 경험을 토대로 몰드되어지는 것이다.

### 몰드 절연 방식의 분류

방식	방법	내용
금형방식	주형법	충진제를 배합한 수지를 금형 내에 진공주입하는 것.
	합침법	코일과 금형간에 유리섬유를충진하고 저점도수지와 진공합침하는 것
	합침주형법	합침과 주형을 조합시킨 것
	FRP주형법	FRP층을 절연층으로 설계하고 고압 및 저압권선을 일체로 하여 몰드하는 주형법
무금형방식	후리후레그 절연법	당초부터 수지를 합침해서 반경화시킨 유리섬유테프를 코일 일 감아 경화시키는 것에
	디핑법	코일주면을 유리테프류로 덮은 후 수지를 합침하고 수지가 누출되지 않도록 경화시키는 것
	필라멘트 와인딩법	필라멘트와인딩 기술을 응용한 것
	부유경화법	코일주면을 유리섬유류도 덮은 후 수지합침해서 반응용액속에 침적해서 경화시키는 것
	기타	코일 주면에 고정형절연물로 싸서 그것을 금형으로 대신 이용하는 것등 여러가지 방법의 것.

한편 무금형 방식은 상기 설명한 금형 방식에서의 여러가지 문제점을 해결하기 위해 여러가지 방법으로 개발되어 실용화되고 있는 방법이다.

금형을 사용하지 않으므로써 설계의 자유도가 높고 우리나라에서와 같이 다종의 개별 사양 변압기 제작에 경제적인 대처가 용이하다는 큰 장점을 내포하고 있는 것이 특징이다.

이 방식에는 후리-후레그 절연법, 디핑법, 필라멘트 와인딩법, 부유경화법등이 있는데 이 방법은 코일 주면에 가라스 섬유사류등의 보강재를 이용해서 FRP층을 성형하여 절연층의 기계적 강도를 우수하게 보강하는 몰드 절연 구조를 채용하고 있다.

특히 이 방식은 설계의 자유도가 높아 특고 변압기, 500KVA이상의 대용량 변압기등의 개별 사양에 널리 이용되고 있는데 가격, 납기면에서 경제적이며 특수 보강재를 이용한 절연층의 기계적 강도 향상으로 단락 강도 보중에 한층 유리한 점이 특징으로 볼 수 있으므로 최근 금형 방식을 채용, 제조해 오던 많은 외국 회사에서 이의 설비를 폐기하고 무금형 방식으로 제조하는 경향이 현저하게 나타나고 있는 것도 이의 장점을 뒷받침해 주고 있는 것이다.

### 3. 容量, 電壓

대용량 제작에도 문제없이 일반화되고 있는 경향으로 최근 국내에서는 단기 용량 최대 8.2MVA 까지 제작 납품한 실적이 있다. 금형 방식은 일반적으로 2MVA 이상이 되면 변압기 냉각 구조에 제한을 받게 되므로 별도의 냉각팬을 취부하여 소음과 에너지를 소모하는 경향이 있으나 무금형 방식에서는 임의 냉각 채널을 필요 개소에 설치 가능하므로 최대 10MVA까지도 완전 자냉식으로 제조될 수 있다.

전압 공급은 특고 변압기가 주류를 이루고 있으며 최고 30KV급 까지 가 현재까지의 제작 범위로 되어 있으나 향후 새로운 절연 기술과 대형화에 수반되는 고도의 몰드 기술등이 더욱 개발되어 60-70KV급의 10MVA용량을 초과 제작할 수 있게 될 것이다.

### 4. 溫度 上昇 限度

몰드 변압기를 온도 상승에 따른 절연 종별을 분류하면 B종, F종, H종등 3가지가 있다. 일반적으로 내열 온도가 높은 쪽이 소형, 경량화되나 절연 재료가 고가이며 전력 손실이 많아지는 경향이 있으므로 여러가지 요인을 종합 평가해서 절연종별을 선정해야 된다.

### 온도상승한도

절연종별	권선온도 상승(°C)	최고허용한도(°C)
B종	75	130
F종	95	155
H종	120	180

### 5. 絶緣 레벌

몰드 변압기는 분류상 건식 변압기의 일종이므로 절연 레벨에 있어 종래의 건식 변압기 기준에 적용하는 경우가 많이 있고 유입식 변압기에 비해 절연 레벨이 떨어졌으나 최근에는 23KV급에서도 유입식 변압기와 동일한 절연레벨을 유지하고 있고 진공차단기와와의 조합시 별도의 써지 업서버도 불필요하게 될만큼 많은 진보를 보여 왔다.

### 6. 各種 變壓器의 比較

#### 각종 변압기의 비교

종류	항목	기본 절연	절연구성	내열 제급	온도상승 한도	난연성	방재 안정성	내 코로나성	내습 내진성	순시 단락강도	초기 설치비	운전 경비
건식	B, F종 몰드	고체	에폭시수지, 무기충진제, 유리섬유, 보강재	B, F종 (130°C) (155°C)	권선 75°C 95°C	불연성	○	○	○	○	×	○
	H종 바니스	기체	공기, 마이카, 노백스, 세리콘- 바니스	H종 (180°C)	권선 기20°C	불연성	○	×	×	×	×	○
유입식	액체	액체	크라프트지 광물유	A종 (105°C)	권선55°C 유50°C	가연성	×	○	○	×	○	×

○:최양, ×:양

### 7. 몰드 變壓器의 特徵

몰드 코일은 다량의 무기 충진제를 배합한 에폭시 수지와 유리 섬유 보강재를 이용하여 특수 절연 시킴으로써 우수한 자기 소화성을 발휘하므로 만일의 사고에 의한 아크 발생에 대해서도 자기 소화가 되어 화재가 발생할 염려가 없다.

또 외부에서 화재가 발생되었다 하더라도 자기 소화되고 화재 부위가 확산될 염려가 없다. 또 감전등에 대한 안전성은 매우 높으나 입전중 코일 표면과 접촉되면 위험하므로 이는 절대 피해야 할 일이다.

최근 방재에 관한 조례, 법제화등이 검토되고 있으며 소방법도 수배건설에 방직 설비의 설치를 의무화하고 있는 건물등에는 방직 설비가 간소화되어 경제적이며 고안정성이 확보될 수 있다는 잇점이 있다.

또한 몰드 변압기는 무기 충진제에 의한 특수 절연 구조로 코로나(부분 방전) 특성 및 임펄스 강도가 높고 유입 변압기와 동일한 절연레벨을 가질 수 있다.

몰드 변압기 절연층에는 유리 섬유 보강재를 도입함으로써 절연층이 부하 변동등에 의한 내부 응력이 높고 절연층의 크랙등의 손상이 없으며 장시간 안정된 특성을 기대할 수가 있다.

절연 내압이 높고 에폭시 수지로 특수 절연시켜 절연 크기의 절대 단소화, 철심의 이상적 설계등으로 소형 경량화 된다.

## 변압기 크기 및 중량비교

종류 용량	절연 방식	F종 몰드	바니스 H종	유입
3 C 200KVA	상면적	50	50	100
	체 적	45	65	100
	중 량	90	95	100
3 C 500KVA	상면적	60	80	100
	체 적	55	70	100
	중 량	95	95	100

## 전력손실비

종류 용량	F종 몰드	바니스 H종	유입
3 C 200KVA	69	100	83
3 C 500KVA	60	100	72

특유의 독자적인 철심 조립 방식을 채용한 적철심 방법과 이상적인 절대 절연 구조로 동선의 평균 장을 극소화시켜 전력손실을 대폭적으로 저감할 수 있다.

코일 전체가 일체가 되어 전기적, 물리적으로 우수한 에폭시 수지층으로 덮여 결박시킴으로써 습기, 가스, 염분 및 소손 등에 대해 강하다.

또한 철심 조립 구조를 독자적으로 개발 향상시켜 소음원의 철심을 둘러싼 몰드 코일이 방음벽이 되도록 설계하여 종래의 전식 변압기보다 훨씬 소음이 저감된다.

부하 관리에 있어서도 변압기 외관의 이상 유무 및 이물질의 개재 여부를 확인하기 좋게 되어 있으며 유입 변압기에서의 절연유에 대한 절연내압은 체크할 필요가 없는 등 보수 점검 등이 용이하다.

## 8. 受配電 設備의 適用

### 1) 시장의 도입 상황

현재 몰드 변압기가 도입되는 시장은 크게 분류하여 3가지가 있다.

제 1 시장은 방재, 안정성면에서 오일레스화를 지

향하는 것인데 몰드 변압기가 개발되기 전에는 와니스형 중 전식 변압기의 시장이 있었지만 여러가지 점에서 우수한 몰드 변압기가 급격히 본 시장을 침투해 나가고 있다.

전식 변압기 전체중 점유하는 몰드 변압기의 비중은 현재 75% 정도로서 향후 2 - 3년 내에 95% 까지 달할 것으로 예측된다.

이 시장은 고층 빌딩, 지하 상가, 지하철등이 선두가 되어 몰드 변압기가 도입되고 있으며, 이에 따라 학교, 병원, 호텔, 공장 및 각종 공공 시설의 수배전 설비에 널리 적용되어 일반화되어 가고 있다.

제 2 시장은 종래 유입 변압기를 채용했던 분야로서 이 시장에서 몰드 변압기를 도입할 때에는 가격 면에서 장애를 받게 된다. 그러나 몰드 변압기는 유입 변압기에 비해 상당한 메리트가 많다.

다시 말해서 저전력 손실에 의한 운전 경비 저감 소형 경량에 의한 설치 장소의 축소, 오일레스화에 의한 소방설비 간략화, 보수 간이화에 의한 메인テナンス의 저감등을 종합 평가해 보면 유입 변압기보다 훨씬 유리한 것이 인정되어 도입 진수가 증가될 수 있다.

제 3 시장은 토목 및 건축등 공사 기간에만 필요한 전력을 공급하기 위한 공사용 전원 설비의 도입이 있다.

이러한 전원은 가반식 몰드 변압기를 채용하는 것이 매우 유리하며 소형 경량, 내습성 및 보수 점검성이 뛰어난 점과 오일레스화에 대한 잇점으로 널리 사용될 수 있다.

또한 유입 변압기를 도입 운영하고 있는 상태에서 시설 변압기의 갱신 수요가 있을 수 있다.

다시 말해서 부하 설비의 증대를 위한 변압기 용량을 키울 필요가 발생하는 경우, 시설 변압기와 동일한 설치 장소에 증설된 변압기를 설치하지 않으면 안될 경우에 유입 변압기에 비해 소형화 되는 몰드 변압기를 채용하는 케이스 등이다.

### 2) 빌딩의 적용 예

이는 지상 12층, 지하 2층, 연면적 16,500m<sup>2</sup>, 총 수전 용량 2,025KVA의 빌딩에 적용한 예로서 몰드 변압기를 이 빌딩에 적용할 경우 유입 변압기와 대비한 종합 비교표는 다음과 같다.

## 빌딩에 적용한 종합 비교표

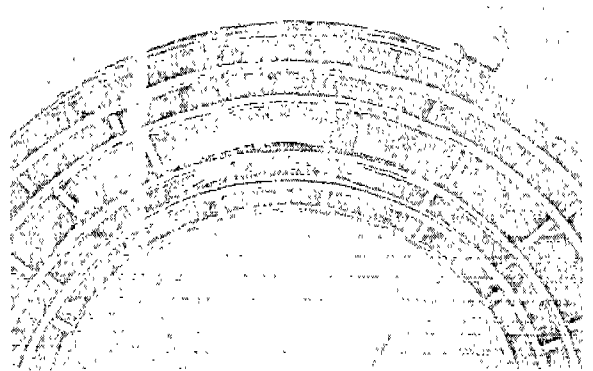
종류		F 중	유입 변압기	비 고
항목		몰드 변압기		
제 원	전력손실 (Kwh/년)	64,207 (75)	85,449 (100)	
	변압기상면적 (m <sup>2</sup> )	4.45 (66)	6.73 (100)	
	변압기총유량 (L)	-	2,195	
	소화설비	소화기 × 2 대	CO <sub>2</sub> 소화설비	
	수배전반의 상면적 (m <sup>2</sup> )	79.98 (80)	93.12 (100)	
초기 투자 경비 (천원)	변압기 가격	A	B	
	수배전실 건설비용	3,635	4,505	150천원 / 3.3m <sup>2</sup>
	소화설비 비용	40	3,000	
	합 계	3,675+A	7,505+B	
5년 간 경비 (천원)	초기 투자 경비	3,675+A	7,505+B	
	성스페이스메리트	-5,220	0	
	전력요금 (손실분)	4,469	5,947	13원 / Kwh
	보수점검비 (변압기)	-	659	오일교환 0.3천원 / L
	( " )	-	1,800	유입점검 40천원 / 천. 대
	보수점검비 (소화설비)	300	1,000	30천원 / 6개월 (소화기)
합 계	3,224+A	16,911+B	100천원/6개월 (CO <sub>2</sub> 설비)	
	경비 비교	-13,687+(A-C)	16,911+B	

고압반과 변압기, 저압반을 단위 폐쇄형으로 설계한 큐비클식으로 되어 있어 F중 무금형 방식의 변압기를 소형화한 수배전실은 유입 변압기를 적용할 때 비해 약 20%가 축소되었다.

또 소화 설비에 있어서도 소방법등의 규제 강화로 유입 변압기에 비해 몰드 변압기 쪽이 간소화되는 장점이 있는데 본 예는 유입 변압기에 대해서는 CO<sub>2</sub> 소화설비가 필요하지만 몰드 변압기에 대해서는 간단한 소화기로도 충분하다고 보았다.

또한 설치 변압기에도 일간 부하를 측정하여 변압기의 전력 손실에 의한 연간 전력량을 계산한 결과 몰드 변압기를 적용할 경우 약 25%의 절전 효과를 기대할 수가 있었다. 보수·점검에 있어서도 몰드 변압기를 적용하면 모든 것이 간략화 되므로 운전 경비를 포함하여 계산하면 종합 경제 효과에 있어서도 약 20%의 경비 절감이 기대될 수 있다는 것이 입증될 수가 있었다.

(1) 무금형 방식의 몰드 변압기는 Epoxy로 충전된 유리 섬유사로 코일을 Radial 및 Cross Roving 하면서 절연층을 만들기 때문에 단락 강도 및 과부

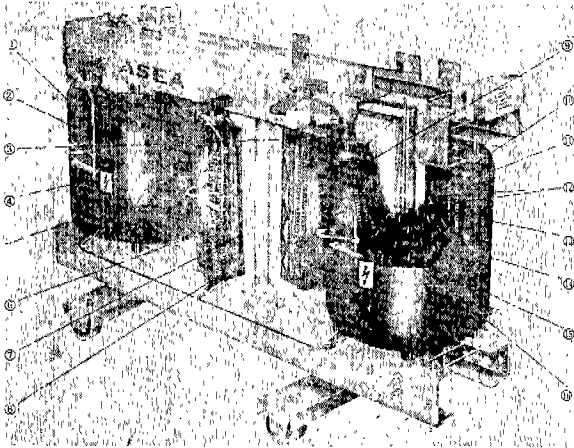


무금형방식몰드변압기

하 내량이 매우 큰 것이 장점이다.

(2) 무금형 방식은 냉각 채널을 임의로 배치할 수 있는 이상적 구조로 10MVA까지도 완전 자냉식으로 제작 가능하다.

(3) 금형 방식에서 도전율이 낮은 Al 박판을 사용하는 것보다 무금형 방식에서 H종의 AIW로 코팅된 동각선을 사용하므로 도전율이 좋고 이상적인 임펄스 레벨을 유지할 수 있다.



- ① 유리 섬유 보강재는 금이 가는 결함을 제거한다.
- ② 매끄러운 표면은 먼지가 쌓이는 것을 방지한다.
- ③ 고압 및 저압 권선은 결합되어 이것이 스스로 축방향 단락 강도를 견디기에 최적하도록 압축 강화되었다.
- ④ 권선은 최고 온도 및 최저 온도까지 온도변화에 영향을 받지 않는다.
- ⑤ 유리 섬유로 보강된 에폭시 수지는 방습이 되며 기타 나쁜 조건에도 보호된다.

⑥ 층권선으로 만들어진 고압 권선은 충격 전압이 가해졌을 때 선형 전압 분포를 하게 되므로 최대 충격 전압에도 잘 견딘다.

⑦ 절연체 및 유리 섬유 보강재를 함께 경화시킨 박형 저압 권선은 반경 방향 단락 강도에 견디기에 가장 적절한 용제이다.

⑧ 고압측 동선에는 유리 섬유 보강재를 시공할 수 있다.

⑨ 코일에는 반경 방향 단락 강도를 견디도록 철심에 여러개의 썬기를 견고하게 박는다.

⑩ 냉각 덕트는 10MVA까지 자냉식으로 된다.

⑪ 저압측의 구리 혹은 알루미늄 박.

⑫ 최고의 기계적 강도 및 단락 강도를 갖도록 고압 및 저압 권선 모두에 유리 섬유 보강재를 사용한다.

⑬ 축방향 단락 강도를 줄이기에 최적한 박형 저압 권선.

⑭ 유리 섬유 보강재는 한 Block에 10MVA 까지 되도록 밀집 권선을 할 수 있게 한다.

⑮ 사용된 모든 자재는 자기 소화 능력이 있으며 arc나 2차 화재 발생시 유독 가스를 발생하지 않는다.

⑯ 원통형 냉각 덕트는 코일 자체를 통하여 최적의 냉각을 하는데 이점이 있다. \*

○ 신고하는 주인의 식 선진조국 초석된다

○ 86. 88 완수하여 세계 속의 한국으로